



DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-3-277-288

УДК 621.9.02

## Применение компьютерной обработки экспериментальных данных исследования зоны стружкообразования на оптических моделях

О.В. Жедь, В.В. Копылов

Российский университет дружбы народов (РУДН)

Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6

В экспериментах методом фотомеханики на оптических моделях непосредственно фиксируется только картина изохром, а изоклины (линии равных углов наклона главных напряжений) приходится вычерчивать вручную для каждого из фиксированных значений плоскостей поляризации. Дальнейшая обработка также производится вручную, изостаты (траектории главных напряжений) проводятся по картине изоклин, а по полученному полю изостат строится поле линий скольжения или максимальных касательных напряжений. Такой многоступенчатый путь (изоклины — изостаты — линии скольжения), содержащий ручную обработку на каждом этапе, приводит к накоплению ошибок. Настоящее исследование в значительной мере снимает указанные проблемы. С целью реализации нагружения, подобного действующему на передней поверхности режущего клина, были разработаны крупномасштабная поляризационно-оптическая модель и специальный экспериментальный стенд. Масштаб модели (10:1) был выбран максимально возможным из условия размещения ее в оптическом поле ППУ-7 (плоская поляризационная установка). Приводится схема стружкообразования, форма поляризационно-оптической модели и ее нагружения. Описывается схема стенда для нагружения зоны стружкообразования исследуемой модели. Задача уменьшения трудоемкости экспериментальной части и увеличения точности полученных результатов решалась путем применения цифровой фотокамеры и специально разработанной технологии компьютерной обработки фотограмм. Характер нагружения моделей в экспериментах описан эпюрой давления. Результаты экспериментов представлялись в виде серии цифровых фотографий, подвергавшихся дальнейшей компьютерной обработке, сделанных с целью получения сетки изоклин, построение поля изостат, а затем и поля линий скольжения. Анализ применения цифровой регистрации и компьютерной обработки фотограмм значительно уменьшает время выполнения экспериментальной части за счет отказа от традиционной методики рисования изоклин на кальке. Кроме этого, повышается точность полей изостат и линий скольжения благодаря тому, что в исходном для их построения поле изоклин исключаются ошибки, неизбежные при ручной фиксации.

**Ключевые слова:** фотомеханика, оптическая модель, зона стружкообразования, изоклины, изостаты, линии скольжения

### Введение

Экспериментальным исследованиям в зоне стружкообразования при резании посвящены многочисленные работы [1—17]. Несмотря на то, что эти исследования имеют более чем столетнюю историю, многие важные для теории и практики вопросы продолжают оставаться недостаточно проработанными. Экспери-

ментальные работы по преимуществу используют косвенные методы: металлографический метод, метод микроанализа деформированного состояния, метод измерения микротвердости и др. В ряде работ применялся поляризационно-оптический метод [4] с использованием прозрачных моделей, обладающий такими преимуществами, как наглядность, реализация поэтапного нагружения, удобный и точный пересчет напряжений от модели к натуре.

Однако применение этого метода сдерживается из-за присущих ему недостатков. Во-первых, это трудности в реализации распределенной нагрузки, особенно распределенной тангенциальной нагрузки. Во-вторых, это проблемы фиксации и обработки полученных результатов: непосредственно фиксируется только картина изохром, а изоклины (линии равных углов наклона главных напряжений) приходится вычерчивать вручную для каждого из фиксированных значений плоскостей поляризации. Дальнейшая обработка также производится вручную, изостаты (траектории главных напряжений) проводятся по картине изоклин, а по полученному полю изостат строится поле линий скольжения.

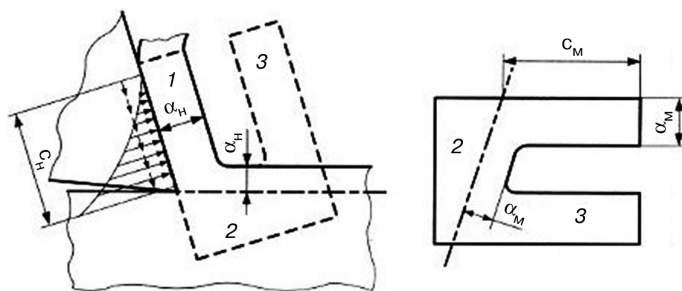
Такой многоступенчатый путь (изоклины — изостаты — линии скольжения), содержащий ручную обработку данных, приводит к накоплению ошибок на каждом этапе. Полученный в этом случае конечный результат иногда аргументированно критикуется, так как в некоторых областях исследуемого пространства картина линий скольжения противоречит известным теоретическим положениям (особенно на линиях границы).

### Разработка методики и техники исследования

Настоящее экспериментальное исследование в значительной мере снимает указанные проблемы. С целью реализации нагружения, подобного действующему на передней поверхности режущего клина, были разработаны крупномасштабная поляризационно-оптическая модель и специальный экспериментальный стенд. Масштаб модели (10:1) был выбран максимально возможным из условия размещения ее в оптическом поле.

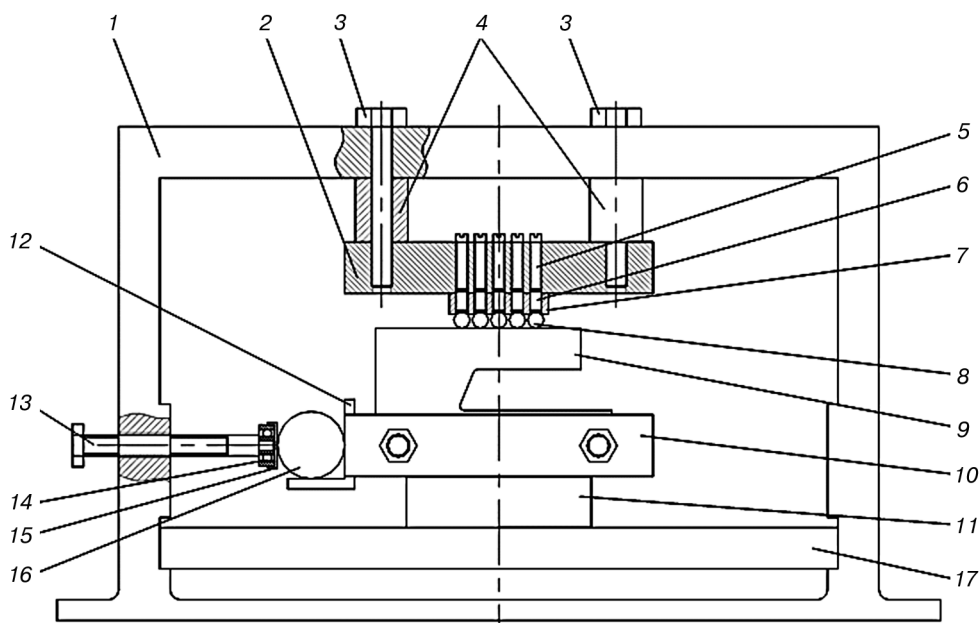
На рисунке 1 показана схема стружкообразования, форма поляризационно-оптической модели и ее нагружение; пунктиром показано наложение модели.

Нагружающий стенд представлен на рис. 2.



**Рис. 1.** Схема формирования поляризационно-оптической модели зоны стружкообразования: 1 — область моделирует стружку; 2 — обрабатываемая заготовка; 3 — область для закрепления модели на стенде

**[Fig. 1.** Formation scheme of chip-forming zone photoelastic model:  
1 — region models the chips; 2 — work piece to be processed; 3 — area for fixing model on the stand]

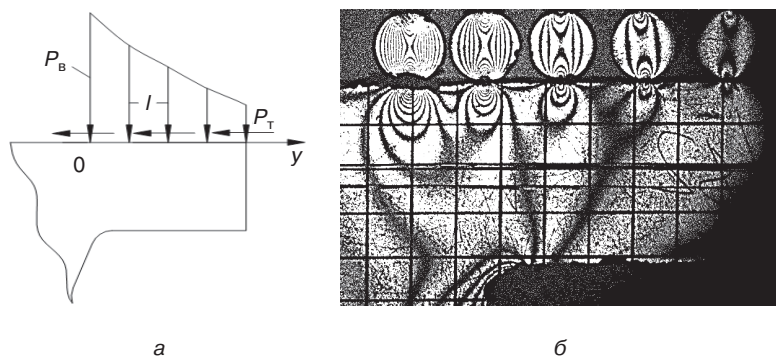


**Рис. 2.** Схема экспериментального стенда для нагружения зоны стружкообразования исследуемой модели: 1 — рама; 2 — плита; 3 — винт; 4 — проставки; 5 — нагружающие винты; 6 — плунжеры; 7 — сепаратор; 8 — дисковые оптические динамометры для задания закона давления на стружку; 9 — оптическая модель; 10 — фиксатор модели; 11 — ползушка; 12 — кронштейн; 13 — винт; 14 — упорный подшипник; 15 — крышка; 16 — дисковый динамометр для тангенциальной нагрузки; 17 — опорная плита

**[Fig. 2.** Scheme of the experimental stand for loading chip formation zone of the model under study: 1 — frame; 2 — plate; 3 — screw; 4 — spacers; 5 — loading screws; 6 — plungers; 7 — separator; 8 — optical disc dynamometers for setting the pattern of pressure variation on the chips; 9 — optical model; 10 — model fixture; 11 — sliding piece; 12 — bracket; 13 — screw; 14 — thrust bearing; 15 — cover; 16 — disc dynamometer for tangential loading; 17 — baseplate]

Модель 9 зажимается с помощью фиксатора 10 на ползушке 11, установленной в направляющих качения на плите 17. В верхней части рамы 1 расположено устройство для создания усилий, имитирующих нормальную распределенную нагрузку на поверхности контакта стружки с передней поверхностью резца. Она состоит из плиты 2, закрепленной на раме винтами 3 через проставки 4, и пяти нагружающих винтов 5, перемещающих плунжеры 6, которые размещены в сепараторе 7. Усилие на модель передается через дисковые оптические динамометры 8. Сбоку слева смонтировано устройство для реализации тангенциальной составляющей на передней поверхности: винт 13, упорный подшипник 14 с крышкой 15. Для передачи тангенциального усилия и его фиксации используется дисковый динамометр 16, установленный в кронштейне 12.

Задача уменьшения трудоемкости экспериментальной части и увеличения точности полученных результатов решалась путем применения цифровой фотокамеры и специально разработанной технологии компьютерной обработки фотограмм. Экспериментальные исследования методом фотомеханики проводились на модернизированной установке ППУ-7. Характер нагружения моделей в экспериментах описан эпюрой давления (рис. 3, а).



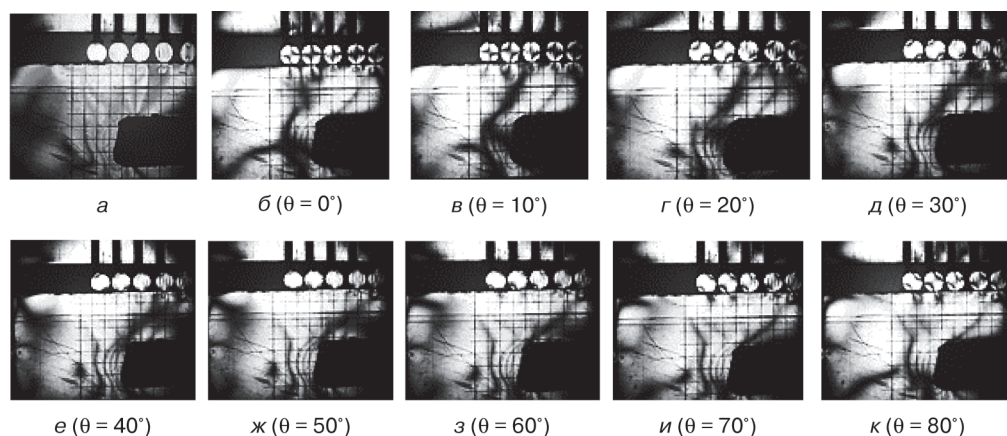
**Рис. 3.** Задание нагрузки на оптическую модель: а — вариант эпюры давления с вертикальной  $P_v$  и тангенциальной  $P_t$  составляющей; б — оптические диски в нагруженном состоянии, моделирующие эпюру нормальной составляющей контактной нагрузки  
[Fig. 3. Applied loads on photoelastic model: а — version of pressure diagram with vertical  $P_v$  and tangential  $P_t$  component; б — optical discs in loaded state, simulating the diagram of normal component of the contact load]

Крупномасштабная модель в данном исследовании позволила разместить пять нагружающих узлов. Для того, чтобы имитировать закон распределения нормального контактного давления на передней поверхности режущего клина, значения сосредоточенных сил в нагружающих оптических дисках поддерживались в соотношении 38:21:11:5,3:1 по направлению от вершины резца к точке отрыва стружки от передней поверхности. Расстояния между узлами составляли 9 мм. На первом диске постоянно поддерживалась нагрузка, вызывающая девять полос, на остальных дисках количество полос обеспечивало вышеуказанную пропорцию. Для создания эпюры давления в вертикальном направлении использовались диски из полиметилметакрилата типа Э2, а для диска, обеспечивающего моделирование горизонтальной составляющей нагрузки, применялся материал самой модели, а именно ЭД6-МТГФА. По результатам тарировки оптически чувствительного материала Э2 установлено значение оптической постоянной  $\sigma_0^{1,0} = 13,73$  кг/см/пол, цена полосы модели  $\sigma_0^t = 27,46$  кг/см<sup>2</sup>/пол.

Результаты экспериментов представлялись в виде серии цифровых фотографий, подвергавшихся дальнейшей компьютерной обработке по оригинальной методике (рис. 4).

Для расшифровки фотограмм применялся метод полос, позволяющий быстро и эффективно судить о характере распределения напряжений и их уровне в произвольной точке модели. Была выполнена серия экспериментов. В настоящей работе приведем результаты обработки фотограмм, которые получены при сообщении нормальной и тангенциальной нагрузки на оптической модели стружкообразования.

Первый снимок (фотограмма) каждой серии (рис. 4, а) представлял собой модель, снятую в белом свете при круговой поляризации. Эта фотография необходима для выявления нулевых точек на нагруженной модели. Остальные снимки серии также сняты в белом свете, но уже при плоской поляризации. Все исходные фотограммы на рис. 4 из цветных переведены в формат черно-белого изображения.



**Рис. 4.** Фотограммы нагружения модели зоны стружкообразования нормальной и тангенциальной нагрузкой: а — круговая поляризация белого света; б–к — плоская поляризация белого света (жирные линии изоклин меняют свое положение на фотограмме в зависимости от угла  $\theta$ );  $\theta$  — параметр изоклины

[**Fig. 4.** Photograms of chip formation zone model loaded by normal and tangential loads: а — circular polarization of white light; б–к — planar polarization of white light, bold lines of isoclines change their position on the photogram as a function of angle  $\theta$ ;  $\theta$  is the isocline parameter]

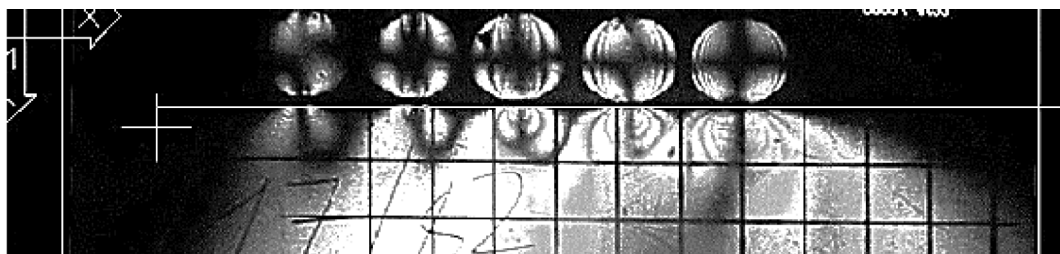
Компьютерная обработка результатов состояла из нескольких этапов, цель которых — получение сетки изоклин в формате, доступном для дальнейшей обработки, и построения поля изостат, а затем и поля линий скольжения: форматирование, предварительная подготовка изображения, изменение разрешения, четкости и других параметров фотографии.

Первый этап обработки результатов — предварительная обработка и подготовка фотографий для импортирования в программу AutoCAD. Для этого использовался редактор графических изображений Adobe Photoshop. Выполнялось приведение фотографии в нужный размер, устранение возможных нечеткостей изображения и небольшого угла наклона сетки ( $0,5–1^\circ$ ), т.е. тех недостатков, которые могут возникнуть в процессе фотографирования. Нечетко сфотографированное изображение нужно отредактировать с помощью фильтра резкости, увеличивая контрастность соседних пикселей. Необходимо также добиваться того, чтобы линии сетки были строго горизонтальны и вертикальны.

После импортирования снимков в программу AutoCAD производилась настройка панелей инструментов для создания новых слоев. Использование слоев — необходимый элемент методики, так как это позволяет упорядочить работу и в дальнейшем получить нужный результат. Наиболее трудоемким является построение каждого поля изоклин, которое основывается на десяти фотографиях, полученных опытным путем (см. рис. 4). Фотографии импортируются в программу с помощью специальной команды. Чтобы фотографии не перемешивались и не перекрывали друг друга, для каждой из них должен быть создан отдельный слой. Помимо того, общий элемент построения — масштабная сетка — также требует отдельного слоя для того, чтобы она не перекрывалась фотографиями. Также в отдельном слое чертятся изоклины каждой фотографии. Это делается для удобства просмотра, изучения и возможной коррекции изоклин. Таким образом, в итоге необходимо создать 21 слой.

Важным моментом является построение линий начальных (исходных) точек семейства изоклин. Необходимо задать базовую линию точек отсчета для всего семейства изоклин, так как рассматриваемая серия фотографий (см. рис. 4) имеет небольшие погрешности, полученные в процессе фотографирования и обработки. Для построения базовой линии импортируют первую фотографию с параметром изоклин  $\theta = 0^\circ$  (рис. 4, б).

Далее выставляется слой, соответствующий данной линии. Определяем местоположение данной линии исходя из фотографии, отступив от левого края фотографии 5–7 см, и фиксируем начало базовой линии. Далее строим прямую линию через место предполагаемого нахождения базовой линии. Отступив от другого конца фотографии, фиксируем конечную точку построения данной линии (рис. 5). Теперь, имея ее начало и конец, строим ее снова, но уже в слое следующей изоклины. Все изоклины будут начинаться именно на этой первой (базовой) линии, точка отсчета каждой из изоклин будет лежать на ней.



**Рис. 5.** Построение линии первых точек  
**[Fig. 5.** Construction of line of the first points]

### Построение изоклины

Для ее построения необходимо выставить слой, соответствующий параметру данной изоклины. В нашем случае начинаем с изоклины  $\theta = 0^\circ$ . Выбираем иконку инструмента (~) и указываем начальную точку построения изоклины на линии начальных точек, исходя из ее месторасположения на фотографии. Затем повторяем рисунок изоклины, тем самым переводя ее в вид полилинии. Дойдя до конца, указываем конец изоклины и фиксируем завершение ее построения. Далее выбираем нужные изгибы начала изоклины и ее конца и подтверждаем их. Полученная изоклина данной фотографии приведена на рис. 6, а.

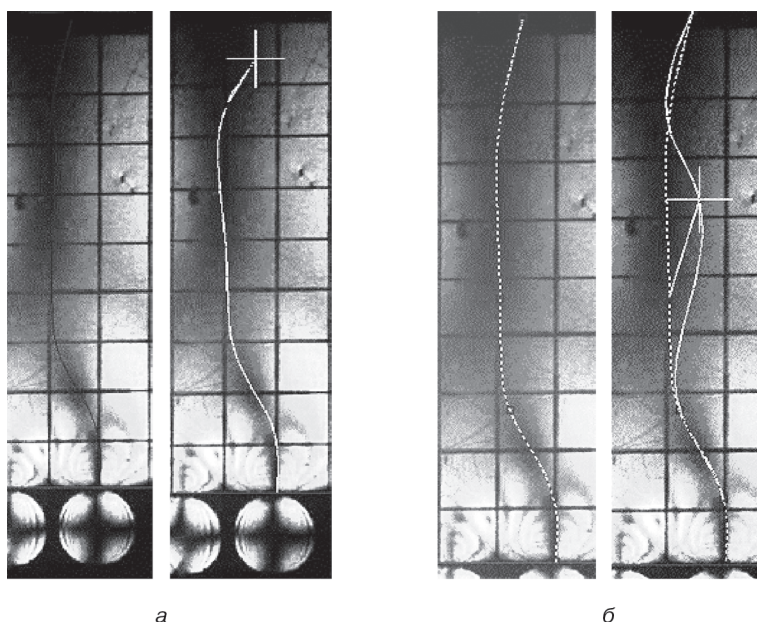
После завершения построения изоклины  $\theta = 0^\circ$  переходим в слой с параметром изоклины  $\theta = 10^\circ$ , предварительно заморозив слой с предыдущим построением и фотографией, и т.д. В итоге получаем поле изоклин, основанное на серии нескольких фотографий с параметрами изоклин от  $\theta = 0^\circ$  до  $\theta = 80^\circ$ .

### Редактирование построения изоклины

Всегда есть возможность изменения кривизны изоклины. Для этого необходимо находиться в том слое, в котором находится редактируемая изоклина. Редактирование возможно только в ее слое. Для изменения кривизны изоклины выбираем ее слой, и на данной линии появляются опорные точки построения в виде квадратов, из которых и состоит полилиния (рис. 6, б). Определим участок

линии, который надо изменить, и выделим его. Квадрат опорной точки станет красным, а сама линия пунктирной, при этом появится возможность изменения кривизны линии.

Проделав вышеописанные действия с каждой из фотографий выполненного эксперимента и построив изоклину каждой из них, получаем поле изоклин. После этого, «заморозив» слои с фотографиями, оставляем только поле изоклин, на основе которых будет строиться поле изостат и в дальнейшем поле линий скольжения.



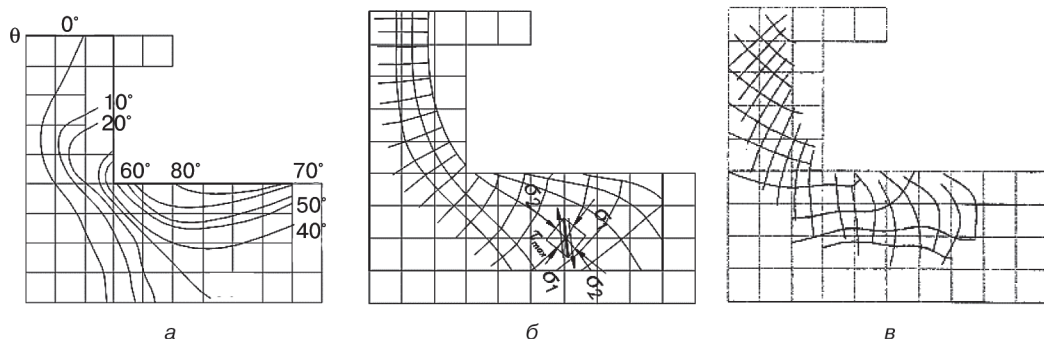
**Рис. 6.** Обработка экспериментальных данных фотограммы с изоклиной:  
а — построение изоклины; б — редактирование изоклины  
[Fig. 6. Processing experimental data of a photogram with an isocline:  
а — construction of isocline; б — editing isocline]

На рисунке 7, а показано поле изоклин, построенное описанным способом при нагружении исследуемой оптической модели, имитирующем одновременное действие нормальной и тангенциальной нагрузки на передней поверхности. Распределенная нагрузка имитировалась пятью сосредоточенными силами, рассчитанными по данным работы [5]. На основе этого поля было построено поле изостат (рис. 7, б).

Изостаты (или траектории главных напряжений) — это линии, касательные к которым в каждой точке совпадают с направлением одного из главных нормальных напряжений в точках касания. Так как главные напряжения  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  в каждой точке взаимно перпендикулярны, траектории главных напряжений образуют систему ортогональных кривых. Изостаты строятся графическим путем на основании картины изоклин.

Наиболее простой способ построения изостат сводится к следующим построениям. На каждой изоклине наносится ряд штрихов, наклоненных к горизонтали под углом, равным параметру изоклины  $\theta$ . Проделав эту работу для всех изо-

клин и проведя плавные кривые так, чтобы штрихи касались ее, получим изостаты одного семейства. Изостаты другого семейства строятся ортогонально к изостатам первого семейства. Таким образом, имея поле изоклин, можем найти направления главных нормальных напряжений в любой точке модели (рис. 7, б). Картина изостат в напряженной модели дает наглядное представление о характере поля напряжений. Затем по полю изостат строят поле линий скольжения (рис. 7, в) или траектории максимальных касательных напряжений. Модель на рис. 7 повернута зеркально относительно горизонтального контура зоны стружкообразования.



**Рис. 7.** Результаты обработки фотограмм нагружения зоны стружкообразования исследуемой оптической модели нормальной  $P_B$  и тангенциальной  $P_T$  нагрузкой: а — поле изоклин; б — поле изостат; в — поле линий скольжения;  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  — главные нормальные напряжения

**[Fig. 7.** Results of processing photograms of photoelastic model chip formation zone loaded by normal  $P_B$  and the tangential  $P_T$  loads: а — field of isoclines; б — isostatic field; в — field of slip lines;  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  — principal normal stresses]

Программа AutoCAD позволяет выполнить все вышеописанные построения, основываясь на поле изоклин, полученных из серии фотографий в ходе выполнения модельного эксперимента. Более того, компьютерный метод построения не только удобен, но и позволяет в будущем менять параметры построения или дорабатывать другие интересующие параметры.

Далее в программе выполняется построение сетки линий скольжения. Через узловые точки на сетке пересечения изостат ( $\sigma_1$  и  $\sigma_2$ ) проводят по диагонали линии скольжения или траектории максимальных касательных напряжений. При очень плотной сетке изостат полученные ломаные линии превратятся в плавные кривые линии скольжения. На рисунке 7, в изображено семейство линий скольжения, которое отражает специфику решаемой задачи для оценки прочности зоны стружкообразования.

Анализируя опыт применения разработанной методики цифровой регистрации и компьютерной обработки фотограмм в поляризованно-оптическом эксперименте, можно заключить, что значительно сокращается время выполнения собственно экспериментальной части за счет отказа от традиционной методики рисования изоклин на кальке, наложенной на матовом стекле фотокамеры установки. Кроме этого, повышается точность полей изостат и линий скольжения благодаря тому, что в исходном для их построения поле изоклин исключаются ошибки, неизбежные при ручной фиксации.



### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Кошеленко А.С., Позняк Г.Г. Теоретические основы и практика фотомеханики в машиностроении. М.: Граница, 2004. 296 с.
- [2] Полетика М.Ф. Контактные нагрузки на режущие поверхности инструмента. М.: Машиностроение, 1969. 150 с.
- [3] Маитра Суканта, Кошеленко А.С., Позняк Г.Г. Стенд для исследования физической модели зоны стружкообразования // Актуальные проблемы теории и практики инженерных исследований: сб. научных трудов. М.: Машиностроение, 1999.
- [4] Кошеленко А.С., Яхья Шакиб Хамас, Позняк Г.Г. Исследование дискретного представления зоны стружкообразования на оптической модели. Депонирована ВИНТИ. 03. 1997. № 823-В97. 8 с.
- [5] Жедь О.В., Кошеленко А.С., Позняк Г.Г., Рогов В.А., Федоров В.Л. Математическая и поляризационно-оптическая модели напряжений в режущем клине // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2000. № 1. С. 21–26.
- [6] Кошеленко А.С., Зборовский С.А., Позняк Г.Г. Методика моделирования напряженного состояния зоны стружкообразования // Проблемы теории и практики в инженерных исследованиях: сб. научных трудов. М.: АСВ, 2000. С. 22–24.
- [7] Кошеленко А.С., Маитра Суканта, Позняк Г.Г. Аналитическое исследование прирезцовый области стружкообразования // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2000. № 3. С. 32–38.
- [8] Позняк Г.Г., Кошеленко А.С., Рогов В.А. Математическая модель напряжений и деформаций в прирезцовой зоне стружки // Известия ТПУ. 2002. Т. 305. Вып. 1. С. 114–119.
- [9] Позняк Г.Г., Кошеленко А.С. Квазидискретная модель стружкообразования при резании // Технология металлов. 2003. № 4. С. 20–26.
- [10] Позняк Г.Г., Кошеленко А.С. Исследование напряжений и деформаций зерна металла на математической и поляризационно-оптической моделях // Технология металлов. 2003. № 5. С. 38–42.
- [11] Позняк Г.Г., Кошеленко А.С., Валид Махмуд Шевах. Физическое и математическое моделирование напряжений при резании материалов с неоднородной структурой // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений: межвузовский сборник научных трудов. Вып. 13. 2004. С. 56–59.
- [12] Позняк Г.Г., Кошеленко А.С., Валид Махмуд Шевах. Исследование напряжений при резании материала с неоднородной структурой на физической (поляризационно-оптической) и математической моделях // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2004. № 2(9). С. 83–87.
- [13] Позняк Г.Г., Кошеленко А.С., Валид Махмуд Шевах. Опыт параллельного исследования на физической (поляризационно-оптической) и математической моделях напряжений в зернах квазидискретного материала (на примере синтетрана) // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2004. № 9(2). С. 85–89.
- [14] Амедие В.Й., Кошеленко А.С., Позняк Г.Г. Математическая модель контактных давлений на задней поверхности режущего клина // Физика, химия и механика трибосистем: межвуз. сб. науч. тр. Вып. 5. Иваново: Изд-во ИГУ, 2006. С. 71–74.
- [15] Амедие В.Й., Кошеленко А.С., Копылов В.В., Позняк Г.Г. Экспериментальное исследование напряжений в зернах и межзеренных связях модели структурно-неоднородных материалов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2008. № 2. С. 48–51.
- [16] Амедие В.Й., Кошеленко А.С., Позняк Г.Г., Рогов В.А. Экспериментально-аналитическое исследование напряжений в межзеренных связях твердосплавной режущей пластины // СТИН. 2008. № 7. С. 17–21.
- [17] Amедие V.I., Koshelenko A.S., Poznyak G.G., Rogov V.A. Stress in the Intergrain Bonds of Hard-Alloy Cutting Plates // Russian Engineering Research. 2008. Vol. 28. No. 10. P. 1010–1014.

© Жедь О.В., Копылов В.В., 2018

**История статьи:**

Дата поступления в редакцию: 20 мая 2018

Дата принятия к печати: 15 июля 2018

**Для цитирования:**

*Жедь О.В., Копылов В.В.* Применение компьютерной обработки экспериментальных данных исследования зоны стружкообразования на оптических моделях // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2018. Т. 19. № 3. С. 277–288. DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-3-277-288

**Сведения об авторах:**

*Жедь Ольга Викторовна* — кандидат технических наук, доцент департамента машиностроения и приборостроения Инженерной академии, Российский университет дружбы народов. *Область научных интересов:* фотомеханика в машиностроении, режущий инструмент. *Контактная информация:* e-mail: zhed\_ov@pfur.ru

*Копылов Владимир Викторович* — кандидат технических наук, доцент департамента машиностроения и приборостроения Инженерной академии, Российский университет дружбы народов. *Область научных интересов:* нанотехнологии, фотомеханика в машиностроении, режущий инструмент. *Контактная информация:* e-mail: kopylov\_vv@rudn.university

## **Application of computer processing of experimental data from analysis of chip formation zone on photoelastic models**

**O.V. Zhed, V.V. Kopylov**

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University)  
6, Miklukho-Maklaya str., Moscow, 117198, Russian Federation

**Abstract.** In the experiments carried out using photomechanical method, only the isochrome pattern is directly recorded on photoelastic models and the isoclines (lines of equal angles of inclination of the principal stresses) must be traced manually for each of the fixed values of the polarization planes. Further processing is also performed manually, isostatic lines (trajectories of principal stresses) are constructed from the isocline pattern, and the field of the slip lines, or maximum tangential stresses, is constructed from the obtained isostatic field. Such multi-step path (isoclines-isostatic lines-slip lines) containing manual processing at each stage leads to accumulation of errors. The research presented in the article largely removes these problems. In order to actualize a load similar to the one acting on the wedge front surface, a large-scale photoelastic model and a special experimental stand were developed. The scale of the model (10:1) was chosen as great as practicable from the condition of its placement in the optical field of the PPU-7 (plane polarization unit). The scheme of chip formation, the shape of the photoelastic model and its loading is given. The scheme of the stand for loading the chip formation zone of the model under study is described. The task of reducing labor intensity of the experimental part and increasing the accuracy of the obtained results was solved by using a digital camera and a specially developed technology for computer processing of photograms. Pressure diagram describes the nature of loading models in experiments. The results of the experiments were presented in the form of a series of digital photographs subjected to further computer processing, the purpose of which was to obtain isocline mesh, construct isostatic lines field, and then fields of slip lines. Analysis of the application of digital recording and computer processing of photograms significantly reduce time of

performing the experimental part by abandoning the traditional method of drawing isoclines on tracing paper. In addition, the accuracy of the fields of the isostatic and slip lines increases because in the initial for their construction isocline field errors that are unavoidable with manual fixation are eliminated.

**Key words:** Photomechanics, photoelastic model, chip zone, isocline, isostatic lines, slip lines

## REFERENCES

- [1] Koshelenko A.S., Poznyak G.G. *Teoreticheskie osnovy i praktika fotomehaniki v mashinostroenii* [Theoretical foundations and practice of photomechanics in machine-building]. Moscow: Granitsa Publ., 2004. 296 p. (In Russ.)
- [2] Poletika M.F. *Kontaktnye nagruzki na rezhushchie poverhnosti instrumenta* [Contact loads on tool cutting surfaces]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1969. 150 p. (In Russ.)
- [3] Maitra Sukanta, Koshelenko A.S., Poznyak G.G. *Stend dlya issledovaniya fizicheskoi modeli zony struzhkoobrazovaniya. Aktual'nye problemy teorii i praktiki inzhenernykh issledovaniy: Sb. nauchnykh trudov* [Stand for studying physical models of chip formation zone. Relevant problems in theory and practice of engineering studies: Collection of scientific studies]. Moscow: Mashinostroenie, 1999. 75–76. (In Russ.)
- [4] Koshelenko A.S., Yakhya Shakib Hamas & Poznyak G.G. *Issledovanie diskretnogo predstavleniya zony struzhkoobrazovaniya na opticheskoi modeli* [Investigation of discrete representation of chip formation zone on a photoelastic model. Deposited by VINITI]. 03. 1997. No. 823-B97. 8 p. (In Russ.)
- [5] Zhed O.V., Koshelenko A.S., Poznyak G.G., Rogov V.A. & Fedorov V.L. *Mathematic and photoelastic models of stresses in a cutting edge. RUDN Journal of Engineering Researches*. 2000. No. 1. 21–26. (In Russ.)
- [6] Koshelenko A.S., Zborovsky S.A., Poznyak G.G. *Metodika modelirovaniya napryazhennogo sostoyaniya zony struzhkoobrazovaniya. Problemy teorii i praktiki v inzhenernykh issledovaniyakh: Sb. nauchnykh trudov* [A technique for modeling stress state of chip formation zone. Problems of theory and practice in engineering research: Collection of scientific studies]. Moscow: ASV Publ., 2000. 22–24. (In Russ.)
- [7] Koshelenko A.S., Maitra Sukanta, Poznyak G.G. *Analitical investigation of the rake surface zone of chip formation. RUDN Journal of Engineering Researches*. 2000. No. 3. 32–38. (In Russ.)
- [8] Poznyak G.G., Koshelenko A.S., Rogov V.A. *Matematicheskaya model' napryazhenii i deformatsii v prireztsvoi zone struzhki* [Mathematical model of stresses and deformations in the cut-off zone of chips]. *Izvestiya TPU*. Tomsk: TPU Publ., 2002. Vol. 305. Issue 1. 114–119. (In Russ.)
- [9] Poznyak G.G., Koshelenko A.S. *Kvazidiskretnaya model' struzhkoobrazovaniya pri rezanii* [Quasidiscrete model of chip formation during cutting]. *Tekhnologiya metallov* [Technology of metals]. 2003. No. 4. 20–26. (In Russ.)
- [10] Poznyak G.G., Koshelenko A.S. *Issledovanie napryazhenii i deformatsii zerna metalla na matematicheskoi i polarizatsionno-opticheskoi modelyakh* [Investigation of stresses and deformations of metal grain on mathematical and photoelastic models]. *Tekhnologiya metallov* [Technology of metals]. 2003. No. 5. 38–42. (In Russ.)
- [11] Poznyak G.G., Koshelenko A.S., Valid Mahmud Shevakh. *Fizicheskoe i matematicheskoe modelirovanie napryazhenii pri rezanii materialov s neodnorodnoi strukturoi* [Physical and mathematical modeling of stresses when cutting materials with heterogeneous structure]. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings: Interuniversity collection of scientific works*. Issue 13. Moscow: RUDN Publ., 2004. 56–59. (In Russ.)
- [12] Poznyak G.G., Koshelenko A.S., Valid Mahmud Shevakh. *Physical (polarization-optical) and mathematical models of stresses distribution in the cutting process of the non-homogenous material. RUDN Journal of Engineering Researches*. 2004. No. 2 (9). 83–87. (In Russ.)
- [13] Poznyak G.G., Koshelenko A.S., Valid Mahmud Shevakh. *Physical (polarization optical) and mathematical reserch studing stresses distributions in a grain of quasi-diskrete materials (for example sintegran). RUDN Journal of Engineering Researches*. 2004. No. 9 (2). 85–89. (In Russ.)

- [14] Amedie V.Y., Koshelenko A.S., Poznyak G.G. Matematicheskaya model' kontaktnykh davlenii na zadnei poverkhnosti rezhushchego klina [Mathematical model of contact pressures on the back surface of cutting wedge]. Fizika, khimiya i mekhanika tribosistem: Mezhd. sb. nauch. tr. [Physics, Chemistry and Mechanics of Tribosystems: Interuniversity collection of scientific studies]. Issue 5. Ivanovo: IGU Publ., 2006. 71–74. (In Russ.)
- [15] Amedie V.Y., Koshelenko A.S., Kopylov V.V., Poznyak G.G. Experimental research of stress of grains and inter-grain bounds in a model of heterogeneous structure materials. *RUDN Journal of Engineering Researches*. 2008. No. 2, 48–51. (In Russ.)
- [16] Amedie V.Y., Koshelenko A.S., Poznyak G.G., Rogov V.A. Eksperimental'no-analiticheskoe issledovanie napryazhenii v mezhdzerennykh svyazyakh tverdosplavnoi rezhushchei plastiny [Experimental-analytical study of stresses in intergrain bonds of carbide blade insert]. *Russian Engineering Research*. 2008. No. 7. 17–21. (In Russ.)
- [17] Amedie V.I., Koshelenko A.S., Poznyak G.G., Rogov V.A. Stress in the intergrain bonds of hard-alloy cutting plates. *Russian Engineering Research*. 2008. Vol. 28. No. 10. 1010–1014. (In Russ.)

**Article history:**

Received: May 20, 2018

Accepted: July 15, 2018

**For citation:**

Zhed O.V., Kopylov V.V. (2018). Application of computer processing of experimental data from analysis of chip formation zone on photoelastic models. *RUDN Journal of Engineering Researches*, 19(3), 277–288. DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-3-277-288

**Bio Note:**

*Olga V. Zhed*— Candidate of Technical Sciences, associate professor of the Department of Mechanical Engineering and Instrumentation, Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). *Research interests*: photomechanics in mechanical engineering, cutting tools. *Contact Information*: e-mail: zhed\_ov@pfur.ru

*Vladimir V. Kopylov*— Candidate of Technical Sciences, associate professor of the Department of Mechanical Engineering and Instrumentation, Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). *Research interests*: nanotechnology, photomechanics in mechanical engineering, cutting tools. *Contact Information*: e-mail: kopylov\_vv@rudn.university